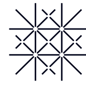

Universität Zürich[UZH]

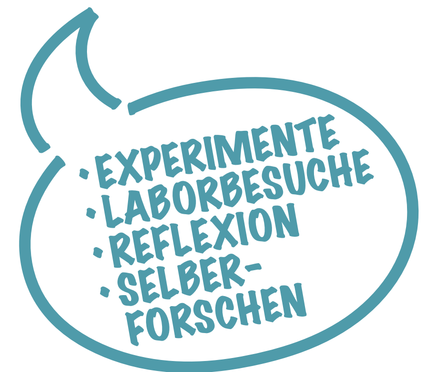
ETH zürich

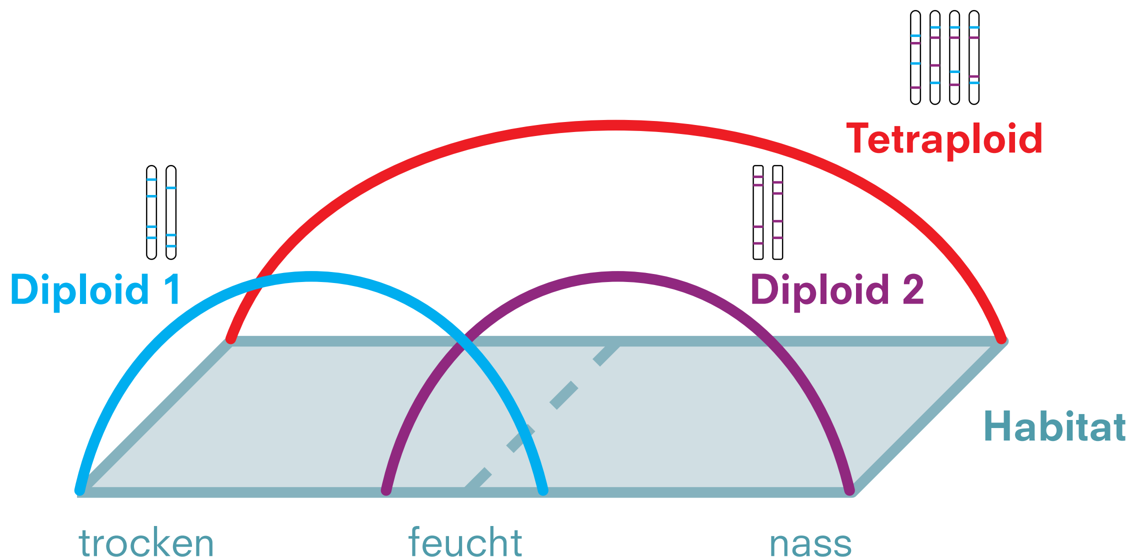

Universität Basel

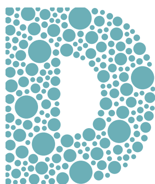
Zurich-Basel Plant Science Center

FORSCHUNGSHEFT #6

Adaptive Evolution







1 Klimawandel
2 3D-Mikroskopie
3 Moderne Pflanzenzucht
4 Stärkemetabolismus
5 Biokommunikation
6 Adaptive Evolution
7 Symbiose
8 Genome Editing

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

In diesem Workshop wirst du untersuchen, wie sich Pflanzen an lokale Umweltbedingungen anpassen. Du wirst verstehen, wann und wie Adaptive Evolution stattfindet und wie Unterschiede im Genotyp und im Phänotyp zu erkennen sind. Am Beispiel von drei Schaumkraut-Arten wirst du die phänotypische Plastizität der Stomatadichte bestimmen. Eine Führung durch das Functional Genomics Center Zürich gibt dir einen Einblick in die Arbeit der Forschenden.

Alle Forschenden haben ein Notizbuch — Das ist dein FORSCHUNGSHEFT für den Workshop Adaptive Evolution. Du kannst es benutzen, um Notizen zu machen, zu zeichnen oder einfach nur, um hineinzukritzeln. Wir empfehlen, dass du deine Beobachtungen und Fragen notierst. Es ist dein Arbeitsbuch. Wir laden dich ein, mitzudenken und kreativ zu sein.

Weitere Lernmaterialien stehen für Lehrpersonen zum Download zur Verfügung:

www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/discovery.html

VORWISSEN

- **Bau und Funktion des Laubblattes**
- **Grundlagen der Genetik (Genotyp, Phänotyp)**
- **Polyploidie**
- **Umgang mit Lichtmikroskop**

Artenbildung durch natürliche Kreuzungen



C. hirsuta *C. flexuosa* *C. amara*

Abb. 1

Artenbildung beim Schaumkraut

Im Kanton Uri in der Schweiz entstanden in den letzten 150 Jahren neue polyploide Arten der Schaumkräuter (Cardamine). Die diploiden Arten (*C. amara* und *C. hirsuta*) haben sich unterschiedlich an trockene oder an nasse Lebensräume angepasst. *C. amara* findet sich entlang kleiner Wasserströme mit höherer Wasserverfügbarkeit, während *C. hirsuta* in offenen, trockenen Lebensräumen zu finden ist. Die tetraploide Art *C. flexuosa* lebt in Gebieten, welche bezüglich Bodenfeuchtigkeit stärkeren Fluktuationen unterworfen sind. Der Lebensraum ist also breiter als derjenige der diploiden Eltern, wobei eine Überlappung der Lebensräume vorhanden ist. Die erhöhte phänotypische Plastizität der tetraploiden Art ist auf die Kombination der beiden Elterngenome zurückzuführen, welche je nach Umweltbedingung unterschiedlich genutzt werden können.

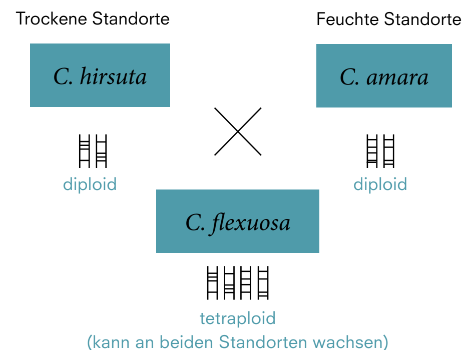


Foto: Rie Inatsugi-Shimizu

Beispiel für phänotypische Plastizität

An der Blattunterseite von Pflanzen befinden sich die Spaltöffnungen (Stomata), welche den Austausch von Kohlendioxid, Sauerstoff und Wasserdampf über die Luft ermöglichen. Die Aufnahme von Kohlendioxid ist wichtig für die Photosynthese. Bei Trockenheit schliessen sich die Stomata, um Wassermangel zu vermeiden. Um sich an Wassermangel in der Umgebung anzupassen, können Pflanzen die Stomatadichte bei neu entstehenden Blättern reduzieren. Die Gesamtzahl von möglichen Stomata pro Blattfläche ist durch den Genotyp bestimmt. Tritt während der Blattbildung ein Wassermangel auf, so werden während der Zellteilung weniger Stomata gebildet. Die genetische Regulation der Stomatadichte ist ein Beispiel für phänotypische Plastizität.

Wie sich Stomata entwickeln?
Die Dichte der Stomata ist zwischen den Arten sehr unterschiedlich und kann zwischen 20 bis über 1000 Spaltöffnungen pro Quadratmillimeter betragen. Auch innerhalb einer Art kann man durchaus beträchtliche Unterschiede finden, je nachdem an welchem Standort eine Pflanze wächst.
In Abbildung 4 siehst du die einzelnen Schritte bei der Stomatabildung. Stomata bestehen aus zwei Schutzzellen, die aus einer meristematischen Mutterzelle über mehrere Zellteilungen abgeleitet werden. Meistens entsteht aus einer Mutterzelle ein Stoma, dies entspricht der Cluster-Ebene 1. Manchmal entsteht ein zweites, drittes oder sogar viertes Stoma aus der selben Mutterzelle. Hier sprechen wir dann von den Cluster-Ebenen 2, 3 und 4.

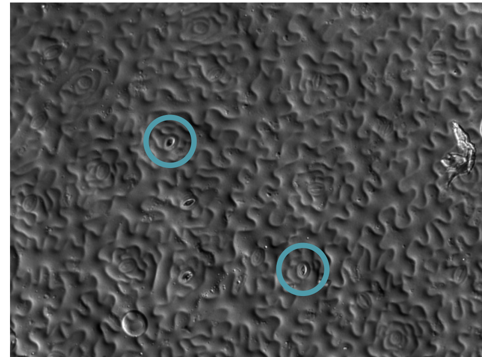


Abb. 3
Abdruck einer Blattunterseite
Die Zellen mit der Struktur eines Puzzles bilden das primäre Abschlussgewebe (Kutikula) und schützen das Gewebe im Blatt nach aussen. Stomata sind hier als rosettenförmige Strukturen zu erkennen (siehe blaue Kreise).

Foto: Rie Inatsugi-Shimizu

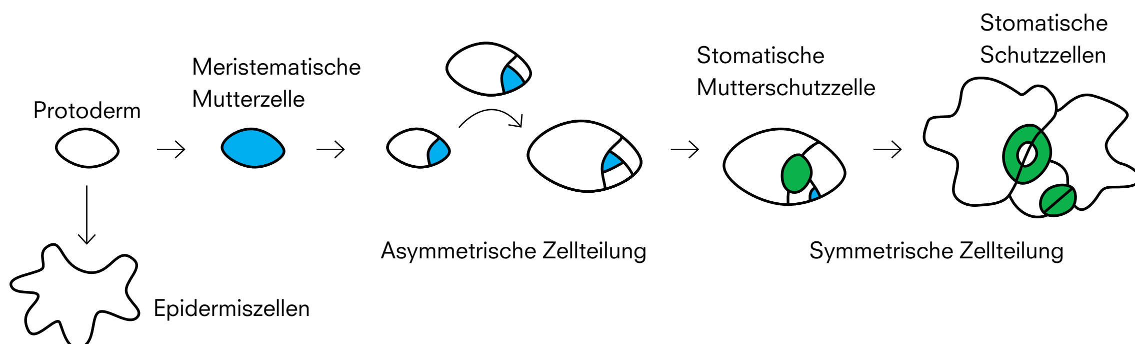


Abb. 4
Stomata-Entwicklung
Aus einer meristematischen Mutterzelle entstehen über mehrere Zellteilungen die Stomata. Protoderm: Die äusserste Zellschicht am Spross- und Wurzelscheitel, aus der sich Epidermis bzw. Rhizodermis entwickeln.

ÜBERSICHT
WAS WIRST DU HEUTE MACHEN?

EXPERIMENTELLER ABLAUF

Am Beispiel des tetraploiden Wald-Schaumkrauts (*C. flexuosa*) sowie den beiden Elternarten (Bitteres Schaumkraut (*C. amara)* und Behaartes Schaumkraut (*C. hirsuta*), beide diploid) wirst du die Anzahl der Stomata pro Fläche (Dichte) und Cluster-Ebene bestimmen. So kannst du beobachten, wie die Dichte der Stomata genetisch und durch die Wasserbedingungen in der lokalen Umwelt reguliert wird.

Protokoll 1
Stomatadichte bestimmen

Protokoll 2
Wie man Stomata zählt

Protokoll 3
Bestimmen der Cluster-Ebene

Beobachtungstabelle 1

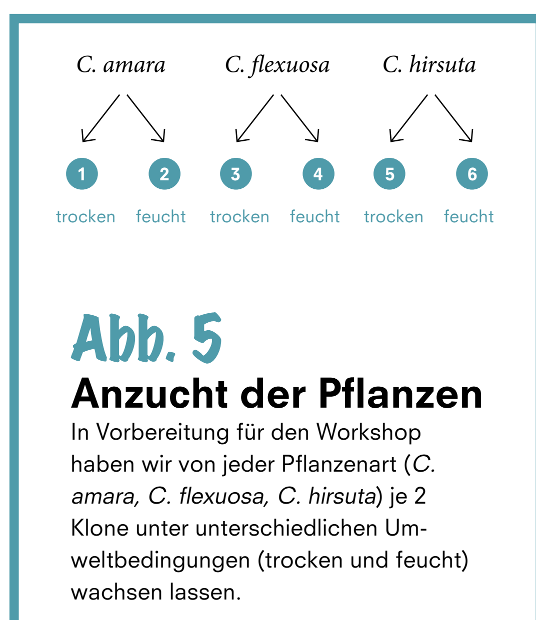


Abb. 5
Anzucht der Pflanzen
In Vorbereitung für den Workshop haben wir von jeder Pflanzenart (*C. amara, C. flexuosa, C. hirsuta*) je 2 Klone unter unterschiedlichen Umweltbedingungen (trocken und feucht) wachsen lassen.

AUSWERTUNG DES EXPERIMENTES

Aufgabe 1

AUFGABEN ZUR VERTIEFUNG

Aufgabe 2

MATERIALIEN

- Frische Pflanzenblätter von *C. hirsuta, C. flexuosa* und *C. amara*.
Die Pflanzen wurden in einer Pflanzenkammer bei gleicher Temperatur und gleichem Licht aufgezogen. Die Pflanzen 1, 3, 5 (trocken) erhielten einmal in der Woche nur wenige ml Wasser, die Pflanzen 2, 4 und 6 (feucht) standen in 2 cm tiefem Wasser und wurden mit einer transparenten Haube abgedeckt.

- Präzisionsabformmaterial für Zahnärzte – Provil Novo Monophase, Tube mit dem Katalysator und Basentube (Heraeus Kulzer, www.dental-direct.no/display.aspx?menuid=30580&prodid=3128). Im Weiteren als Basis bezeichnet.

- Unterlack
- Objektträger
- Deckglass
- Pinzette
- 80 % Glycerol
- Mikroskop
- Durchsichtiges Klebeband

PROTOKOLL 1
Herstellen eines Blattabdrucks

1. Mische 4 ml des Katalysators mit 4 ml der Basis. Vermische die Masse mit einem Zahnstocher bis eine homogene Masse entsteht. Streiche danach die Oberfläche möglichst glatt.
2. Lege ein ausgewachsenes Blatt mit der Unterseite auf das Abformmaterial. Achte darauf, dass keine Luftblasen zwischen dem Blatt und dem Abformmaterial eingeschlossen werden. Die zu untersuchenden Stomata befinden sich auf der Unterseite des Blattes. Warte 5 Minuten bis das Abformmaterial getrocknet und ausgehärtet ist.
3. Entferne nach dem Trocknen des Abformaterials das Blatt vorsichtig mit einer Pinzette. Falls Blattreste oder Schmutz auf dem Abformaterial zurückbleiben, kann mit Hilfe eines Klebstreifens das Abformaterial gereinigt werden.
4. Trage mit dem Pinsel eine dünne Schicht Unterlack auf das Abformaterial und lass den Lack trocknen. Vermeide die dicken Blattadern.
5. Nimm einen Objekträger und tropfe 80 % Glycerol darauf. Ziehe die Schicht des Unterlackes vorsichtig mit einer Pinzette ab und lege diese auf den Tropfen mit 80 % Glycerol. Nehme ein Deckglass mit der Pinzette. Lege eine Kante des Deckglases an den Rand das Glyceroltropfens. Deckel das Präparat ein, ohne Luftblasen einzuschliessen. Beschrifte den Objektträger.

Abb. 6
Silikonabdruck von Blattunterseite



Tuben mit der Basis und dem Katalysator.


Blatt auf Abformmaterial.


Abformmaterial nachdem das Blatt abgezogen wurde.

PROTOKOLL 2
Bestimmen der Stomatadichte

1. Fertige von je einem Blatt pro Art und Umweltbedingung ein Abdruckpräparat an, also insgesamt 6 Abdrucke. Siehe **Abbildung 7**.
2. Betrachte jeden Abdruck unter dem Mikroskop. Wähle eine Stelle, die möglichst frei von Blattadern ist. Verschaffe dir einen Überblick über das Präparat und stelle eine Schärfeebene ein, welche es dir ermöglicht, alle Stomata zu zählen. Zähle die Stomata über den ganzen Sichtbereich separat aus und trage das Resultat in **Beobachtungstabelle 1** ein.
3. Wiederhole die Auszählungen an drei verschiedenen Positionen auf jedem Präparat. Idealerweise sollte die Stomatadichte an achtzehn Positionen (drei Arten, zwei Umweltbedingungen, drei Wiederholungen: 3 x 2 x 3 = 18) ausgezählt werden, damit ein Mittelwert berechnet werden kann.

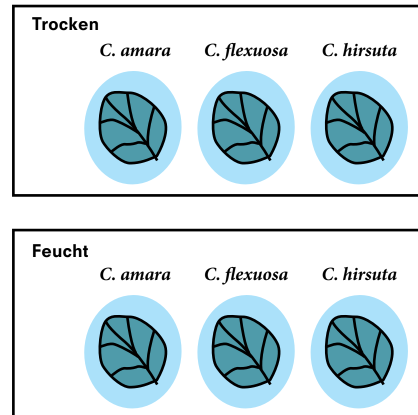


Abb. 7
Abdruckpräparate

BERECHNUNG DER GRÖSSE DES SICHTFELDES

Um die genaue Fläche des Sichtfeldes von deinem Mikroskop zu bestimmen, steht dir ein spezieller Objektträger mit einem Massstab zur Verfügung. Lege einen solchen Objektträger unter das Mikroskop und bestimme den Durchmesser des Sichtfeldes. Siehe **Abbildung 8**. Die dicken Linien haben einen Abstand von 1 mm, die dünnen Linien sind 0.1 mm auseinander. Mit der Kreisflächenformel ($A = \pi \cdot r^2$) kannst du die Grösse des Sichtfeldes berechnen.

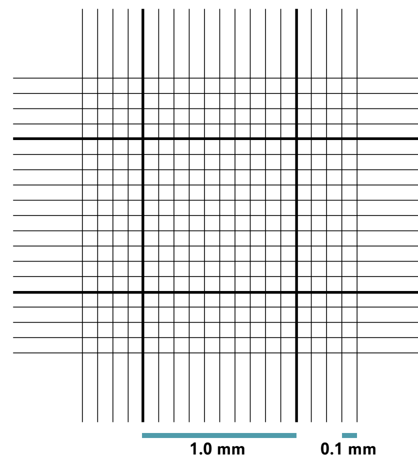


Abb. 8
Sichtfeld

PROTOKOLL 3
Bestimmen der Cluster-Ebene

1. Messe die Fläche des Sichtfeldes (mm^2) mithilfe der Zählkammer auf dem Objektträger.
2. Zähle die Anzahl der Stomata auf dem Sichtfeld. Beispiel in **Abbildung 9**: Cluster-Ebene 1, roter Punkt (n=9), Cluster-Ebene 2, blaues Dreieck (n=2).
3. Bestimme die Cluster-Ebene und zähle alle Stomata, die aus derselben Mutterzelle entstanden sind. Mit der Cluster-Ebene 2 beginnen. Finde drei oder vier Stomata, welche aus einer Mutterzelle entstanden sind. Trage diese unter Cluster-Ebene 3 und 4 in die Beobachtungstabelle ein.

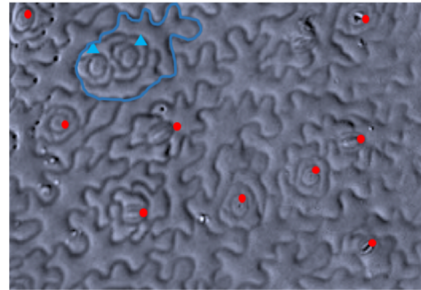


Abb. 9

Ausschnitt eines Blattabdrucks

Insgesamt sind 11 Stomata zu sehen. Mit roten Punkten markiert sind die Stomata der Cluster-Ebene 1. Mit einem blauen Dreieck markiert sind Stomata, der Cluster-Ebene 2.

Tabelle 1

Trage deine Beobachtungen in die Tabelle ein!
Meine Beobachtung:

Abmessung des Sichtfeldes		
	Durchmesser =	mm
(x 20)	Fläche =	mm^2

			Stomatadichte (pro mm^2)		A	B	C	D	Durchschnittliche Anzahl Stomata / Cluster-Ebene
Art	Wachs-tumsbe-dingung	#	Stomata-anzahl pro Sichtfeld	Stomata-anzahl pro Fläche	Cluster-Ebene 1	Cluster-Ebene 2	Cluster-Ebene 3	Cluster-Ebene 4	Stomataanzahl (A+B+C+D) / Anzahl Cluster (= 4)
C. amara	*trocken*	*1*							
	trocken	*2*							
	trocken	*3*							
C. hirsuta	*trocken*	*1*							
	trocken	*2*							
	trocken	*3*							
C. flexuosa	*trocken*	*1*							
	trocken	*2*							
	trocken	*3*							
C. amara	*feucht*	*1*							
	feucht	*2*							
	feucht	*3*							
C. hirsuta	*feucht*	*1*							
	feucht	*2*							
	feucht	*3*							
C. flexuosa	*feucht*	*1*							
	feucht	*2*							
	feucht	*3*							

AUFGABE 1

Du hast mit drei verschiedenen Arten von Pflanzen gearbeitet. Siehst du, wie die Pflanzen unter verschiedenen Umweltbedingungen wachsen?

Meine Beobachtungen:

C. amara entwickelt mehr Stomata unter folgenden Umweltbedingungen ______________

und weniger Stomata unter folgenden Umweltbedingungen ______________

C. hirsuta entwickelt mehr Stomata unter folgenden Umweltbedingungen ______________

C. flexuosa entwickelt mehr Stomata unter folgenden Umweltbedingungen ______________

C. __________ hat im Mittel mehr Stomata als *C.* __________

hat im Mittel mehr Stomata als *C.* __________

Meine Vermutung:

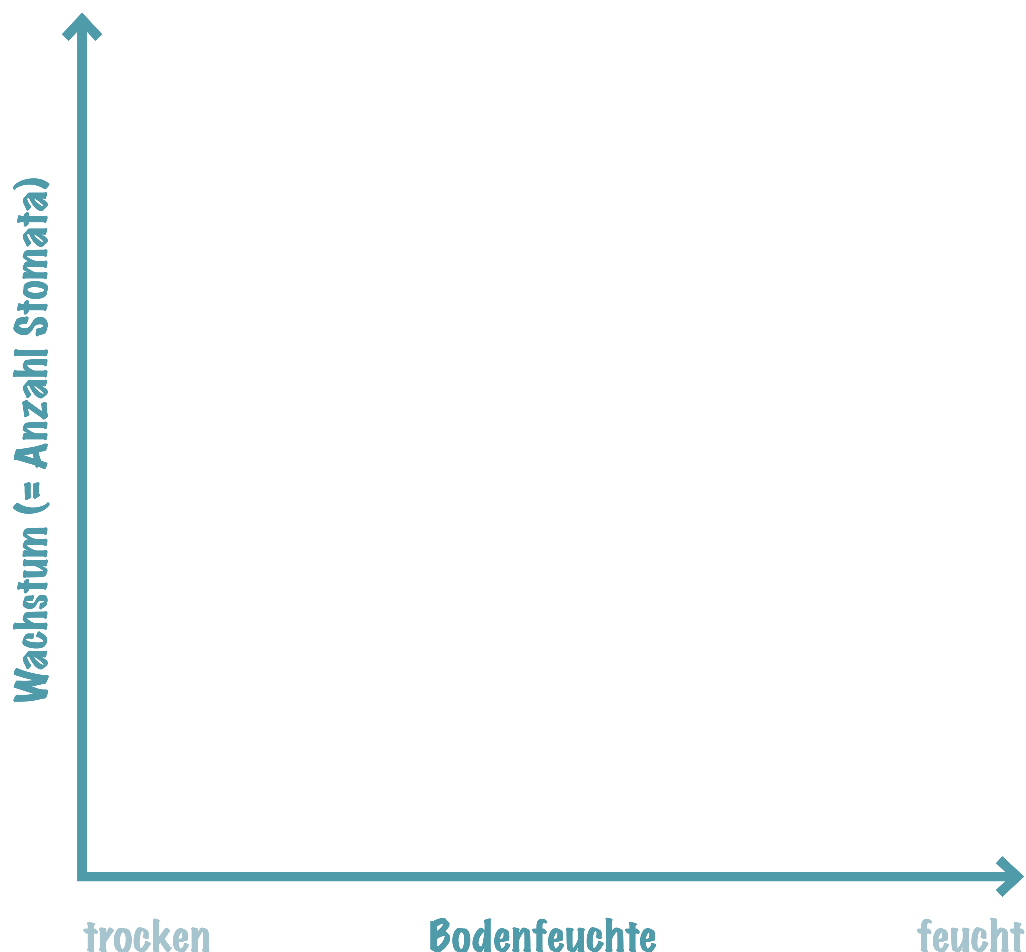
C. amara ist an ______________________ Umweltbedingungen angepasst

C. hirsuta ist an ______________________ Umweltbedingungen angepasst

C. flexuosa ist an ______________________ Umweltbedingungen angepasst

AUFGABE 1

Teste nun, ob deine Vermutung stimmt. Zeichne eine Toleranzkure für jede Art.



Definition: Eine Toleranzkurve macht die phänotypische Plastizität einer Art sichtbar. Sie beschreibt die Fähigkeit einer Art, Schwankungen von Umweltfaktoren zu ertragen.

Das primäre Ziel einer jeden Pflanze ist es zu wachsen. In der Forschung dient das Wachstum der Pflanze und der Blätter als wichtige Kenngrösse für den Gesundheitszustand der Pflanze. Unter optimalen Bedingungen und in gesundem Zustand wächst die Pflanze und legt an photosynthetisch aktiver Gesamtfläche zu. Wenn eine Pflanze mehr Stomata entwickeln kann, bedeutet es, dass die Pflanze eine höhere photosynthetische Aktivität leisten kann. Eine Erhöhung der photosynthetischen Aktivität bedeutet ein erhöhtes Wachstum.

AUFGABE 1

Versuche nun zu begründen, weshalb sich die Resultate mit deiner anfänglichen Vermutung decken.

Meine Analyse:

Gratuliere, du hast gerade Forschung gemacht!

AUFGABE 2

**Schau dir die Blattanzahl der Pflanzen an:
C. hirsuta bildet unter trockenen Umweltbedingungen mehr Blätter aus, dagegen bildet *C. amara* mehr Blätter unter nassen Bedingungen aus.
Dagegen ist der Unterschied in der Blattzahl bei *C. flexuosa* nicht signifikant. Auch dieses Merkmal zeigt phänotypische Plastizität.**

C. hirsuta



trocken / nass

C. flexuosa



trocken / nass

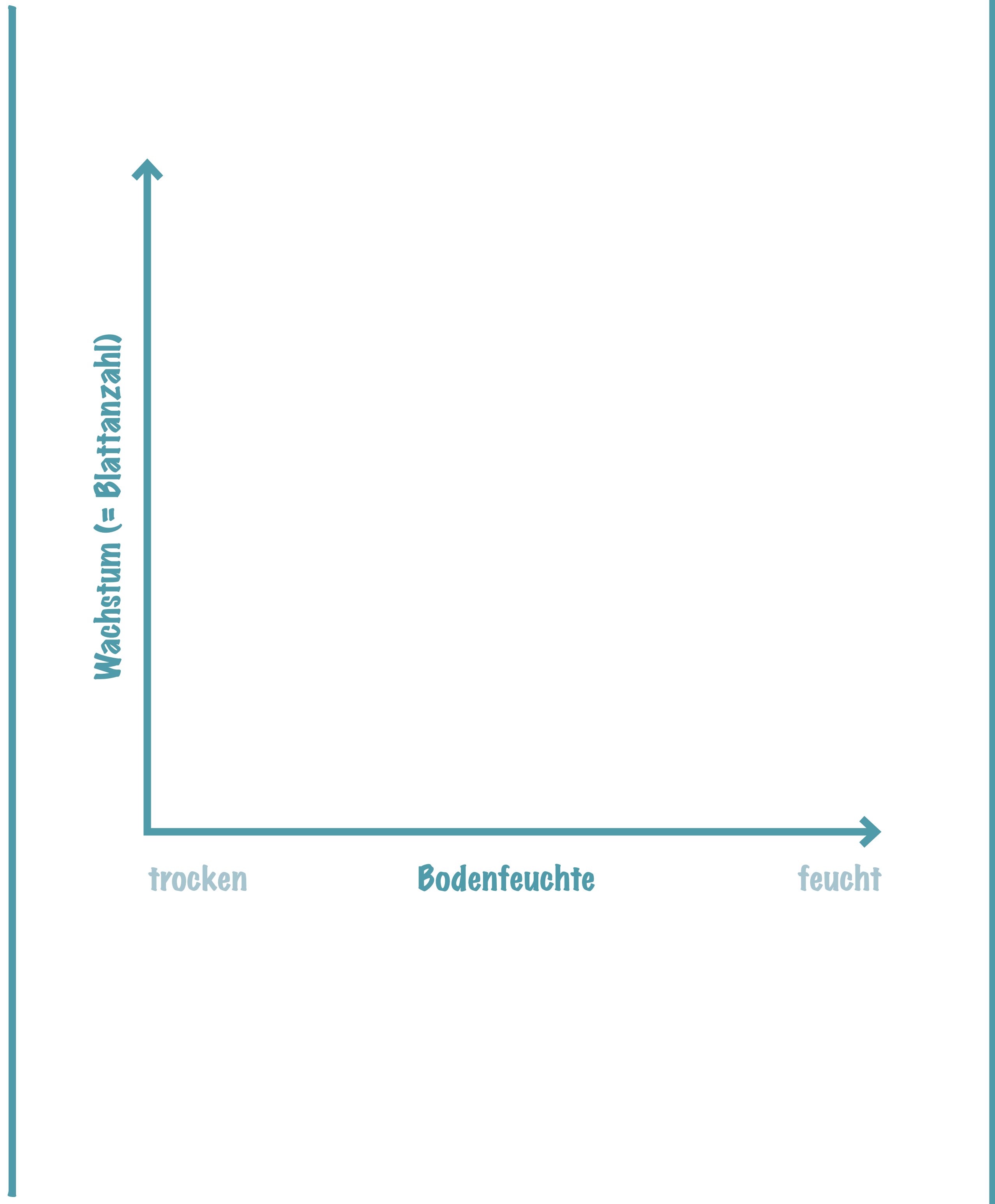
C. amara



trocken / nass

AUFGABE 2

Wie würde die Toleranzkurve für die Blattanzahl für die verschiedenen Arten aussehen?



AUFGABE 3

Wann wird eine phänotypische Veränderung an die nächste Generation weitervererbt?

RELEVANZ IN WISSENSCHAFT UND GESELLSCHAFT



Was können wir von der Evolution für die Pflanzenzucht lernen?
Die Genomforschung ist heute ein zentraler Bestandteil der Evolutionsbiologie. Eine Forschungsfrage ist, wie sich der Klimawandel auf die genetische Struktur von Pflanzen auswirkt. Mithilfe von Sequenzierungen und bioinformatischen Analysen können Forschende die Abschnitte im Pflanzengenom finden, die sich infolge von Adaption an bestimmte Umweltfaktoren verändert haben. Diese Variationen sind sowohl für die evolutionäre als auch für die züchterische Selektion von Bedeutung.

Beispiel Weizen: An der Universität Zürich untersuchen Forschende die Genome von über 300 Landrassen des Weizens. Diese wurden in der Türkei und in westasiatischen Ländern gesammelt. Insgesamt waren 1600 Landwirtinnen und Landwirte beteiligt, in Anbaugebieten von 0 bis 5100 m über dem Meeresspiegel. Weizen hat in unterschiedlichen Regionen der Erde im Laufe der Zeit unterschiedliche Selektionen erfahren. Die Genome der verschiedenen Landrassen sind wahre Schatztruhen. Weizen hat ein komplexes, polyploides Genom, also mehrere Genome in einer Pflanze. Von jedem Gen gibt es mehrere Kopien (= Allele). Die Landrassen unterscheiden sich durch sogenannte Single Nucleotide Polymorphismen (SNPs). Jeder SNP (ausgesprochen «snip») beschreibt einen Unterschied in einem DNA-Abschnitt. In Datenbanken werden die genetischen Daten mit Angaben über Umweltfaktoren z. B. meteorologischen Daten verknüpft. Mithilfe von bioinformatischen Analysen suchen die Forschenden nach den Genen oder Genregionen, die es den Landrassen ermöglichen, bei höheren Temperaturen und / oder weniger Niederschlag gute Erträge zu liefern. Diese Gene oder Genregionen könnten in bereits existierende Kulturpflanzen mit Hilfe von molekularbiologischen Methoden integriert werden – mit dem Ziel, robustere Weizensorten zu züchten. Da das Klima sich in vielen Anbaugebieten für Weizen in den nächsten Jahren verändern wird, ist mit Ertragsverlusten zu rechnen. Vorhersagen weisen darauf hin, dass pro Grad Celsius Erwärmung die Erträge um 6% sinken werden.

Quellen:
UZH Magazin 3 / 2020: https://www.news.uzh.ch/de/articles/2020/Blueten-vom-Urnerboden.html

Asseng, S. *et al.* (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. In: Nature Climate Change 5, 143–147. https://www.nature.com/articles/nclimate2470

Beispiel Raps: Während der Polyploidisierung entstehen nicht nur Genduplikationen, sondern häufig gehen Gene oder Genregionen auch verloren. Unter bestimmten Umweltbedingungen können solche Deletionen einen positiven Effekt für die Pflanze haben. Forschende haben entdeckt, dass eine Gendeletion im asiatischen Raps (*Brassica napus*) den Raps dazu befähigt, auch in kühleren Regionen zu wachsen und mehr Öl zu bilden.

Quelle: https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/davon-profitiert-auch-der-mensch-polyploidisierung-von-10731

Orginal Publikation:
Qian, L. *et al.* (2016): Deletion of a stay-green gene associates with adaptive selection in Brassica napus. In: Mol Plant., 9, 1559–1569. https://doi.org/10.1016/j.molp.2016.10.017

A-Z GLOSSAR

Adaptive Evolution
Genetische Veränderungen, die zur Anpassung an neue Umweltbedingungen führen.

Allele
Allele sind unterschiedliche Varianten eines Gens.

Diploid
Das Vorliegen eines doppelten Chromosomensatzes. Jedes Chromosom ist doppelt vorhanden, wobei jedes Gen mit zwei Allelen vertreten ist.

Gen
Die auf den Chromosomen gelegenen, aus DNA bestehenden, Einheiten der Erbinformation.

Genom
Die Gesamtheit der Gene eines Lebewesens; das gesamte genetische Material eines Organismus.

Mutation
Eine dauerhafte Veränderung des Erbgutes.

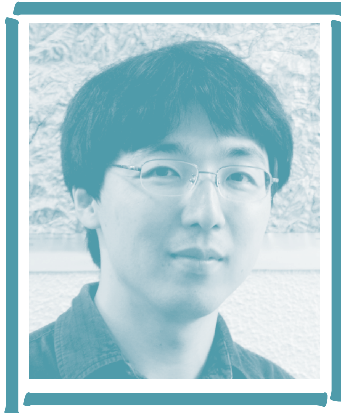
Polymorphismus
Das Auftreten mehrerer Genvarianten innerhalb einer Population.

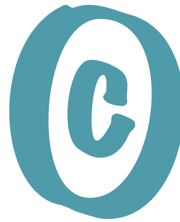
Polyploidie
Das Vorliegen von mehr als zwei kompletten Chromosomensätzen.

Phänotypische Plastizität
Individuen mit dem gleichen Genotyp (Erbinformation) bilden unterschiedliche Phänotypen aus, je nach den gerade vorherrschenden Umweltbedingungen.

SNP
Wenn ein einzelnes Basenpaar in der untersuchten DNA von zwei Genomen variiert, sprechen die Forschenden von einem Einzelnukleotid-Polymorphismus (SNP, engl. Single Nucleotide Polymorphism).

Kentaro Shimizu
Molekularer Pflanzenökologe





Forschungsprojekte

Kentaro K. Shimizu ist Professor für Evolutionäre und Ökologische Genomik an der Universität Zürich. Er untersucht, wie Pflanzen in unterschiedlichen Umgebungen überleben können. Dazu analysiert und vergleicht er die Genome von Pflanzen. Anhand von genomischen Veränderungen, kann er Rückschlüsse auf die Artenbildung und die Adaption von Pflanzen an die Umwelt ziehen. Kentaro Shimizu möchte verstehen, welche Gene oder Genregionen den Pflanzen helfen, sich an einen neuen Standort anzupassen.
Professor Shimizu untersucht, wie neue Arten durch Genomverdoppelung (= polyploide Artbildung) entstehen. Die Polyploidisierung ist ein wichtiger evolutionärer Baustein für die pflanzliche Biodiversität auf der Erde. Etwa ein Drittel der Blütenpflanzen verfügt über einen polyploiden Chromosomensatz. Die höhere Anzahl von Allelen führt zu einer grösseren genetischen Variation, und somit auch zu einer höheren phänotypischen Plastizität. Polyploide Arten besitzen daher häufig eine grössere Toleranz gegenüber Umweltfaktoren.
Genomveränderungen sind nicht alleinige Quelle für einen neuen Phänotyp. Genomische Plastizität hat Effekte auf die Proteinbildung und damit auf den Pflanzenmetabolismus. Bei der Anpassung an neue Umweltbedingungen wird oft die Expression mehrerer Gene verändert, d. h. es werden mehr Proteine synthetisiert oder die Gene werden inaktiv. Die Forschungsgruppe von Professor Shimizu konnte z. B. zeigen, dass Expressionsmuster von *C. flexuosa* bei trockenen Umweltbedingungen denjenigen von *C. hirusuta* ähnlich sind. Bei feuchten Umweltbedingungen ähneln sie denen von *C. amara*. Dies zeigt, dass die polyploide Pflanze *C. flexuosa* ihre Genexpressionmuster flexibel an unterschiedliche Umweltbedingungen anpassen kann.

Q+A

Wie bist du zu deinem Forschungsgebiet gekommen?
Schon als Student war ich an der Verknüpfung von molekularbiologischen und ökologischen Forschungsfragen interessiert. Während der Doktorarbeit hatte ich die Möglichkeit zu lernen, wie man Genome analysiert. Später habe ich dann versucht dieses Wissen zu nutzen, um evolutionäre Prozesse zu untersuchen.

Was sind die wichtigsten Voraussetzungen für deinen Beruf?
Dinge hinterfragen und neugierig sein. Wenn ich Lehrbücher lese, überlege ich mir immer, was noch fehlt und was noch nicht beschrieben wurde.

Was sind die nächsten Herausforderungen?
Wir arbeiten oft an Modellpflanzen, weil da die Genome bis ins kleinste Detail sequenziert wurden. Eine Herausforderung ist, das Wissen über Modellpflanzen auf Nutzpflanzen zu übertragen.

Referenzen

Rie Shimizu-Inatsugi, Aika Terada, Kyosuke Hirose, Hiroshi Kudoh, Jun Sese, Kentaro K. Shimizu (2016). Plant adaptive radiation mediated by polyploid plasticity in transcriptomes. Molecular Ecology, 26, 193–207. https://doi.org/10.1111/mec.13738

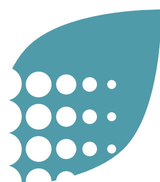
http://p3.snf.ch/project-182318

UZH Medienmitteilung vom 06.10.2020. Evolution in Aktion: Neue Pflanzenart im Urnerboden https://www.media.uzh.ch/de/medienmitteilungen/2020/Urnerboden.html

ZURICH-BASEL PLANT SCIENCE CENTER

Das Zurich-Basel Plant Science Center ist ein Kompetenzzentrum für Pflanzenwissenschaften an den drei Hochschulen ETH Zürich, Universität Zürich und Universität Basel. Es umfasst 40 Forschungsgruppen mit rund 600 Forschenden. Das Zentrum fördert sowohl Grundlagenforschung, wie auch angewandte Forschung in den vielseitigen Disziplinen der Pflanzenwissenschaften. Das Zurich-Basel Plant Science Center bietet ein breites Angebot an Workshops, Exkursionen und Freizeitaktivitäten für LehrerInnen, Familien, Schulklassen und interessierte Personen an, mit der Möglichkeit, Pflanzenforschung zu erleben und mit WissenschaftlerInnen vor Ort zu diskutieren.

Aktuelle Angebote finden Sie hier: plantsciences.uzh.ch/de/outreach





SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS
ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG

Unterstützung
Die Plant Science Discovery Workshops wurden unterstützt vom Schweizerischen Nationalfonds.
Agora Grant Nr. 158542: PSC Discovery Programm für Jugendliche.

Partner
ETH MINT Lernzentrum

Copyright
© Zurich-Basel Plant Science Center.
Discovery Workshop: Adaptive Evolution, 2020

Die Inhalte sind unter CC BY-NC-SA 4.0 verfügbar.

Zitiervorschlag
Shimizu, K.K., Shimizu-Inatsugi, R., Mohn, L., Rapo, C., Faller, P., Paschke, M., Dahinden, M. (2020). Plant Science Discovery Workshops, Forschungsheft #6 Adaptive Evolution. Zurich-Basel Plant Science Center.
https://doi.org/10.3929/ethz-b-000421725

ISBN: 978-3-906327-85-3

Herausgeber
Zurich-Basel Plant Science Center
Geschäftstelle, ETH Zürich, TAN D 5.2
Tannenstrasse 1
8092 Zürich
Schweiz
+41 44 632 23 33
info-plantscience@ethz.ch
www.plantsciences.ch

AutorInnen
Prof. Kentaro K. Shimizu, Dr. Rie Shimizu-Inatsugi, Dr. Luca Mohn, (Universität Zürich), Patrick Faller (Fachdidaktiker für Biologie am MINT-Lernzentrum an der ETH Zürich), Dr. Carole Rapo, Dr. Melanie Paschke und Dr. Manuela Dahinden (Zurich-Basel Plant Science Center)

Layout & Illustration
fabianleuenberger.com

Weitere Lernmaterialien
www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/atschool/discovery

Version 6.2. — 2020-10-29